

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

IVAN FICKO

SUVREMENI EGZOGENI PROCESI I ULOGA
INŽENJERSKE GEOLOGIJE

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

IVAN FICKO

SUVREMENI EGZOGENI PROCESI I ULOGA
INŽENJERSKE GEOLOGIJE

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:

Ivan Ficko

MENTOR:

doc. dr. sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2017.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Suvremeni egzogeni procesi i uloga inženjerske geologije

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc.dr.sc. Hrvoja Meaškog**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 06.09.2017.

Ivan Ficko

(Ime i prezime)

06338791414

(OIB)



(Vlastoručni potpis)

Sažetak

Djelovanje egzogenih procesa najviše ovisi o klimi, nagibu zemljišta, mehaničkoj i kemijskoj otpornosti stijena te njihovoj vodopropusnosti. Egzogeni procesi predstavljaju naziv za sve procese koji izvana mijenjaju reljefne oblike nastale endogenim procesima. Erozija, korozija, abrazija, denudacija i akumulacija spadaju u tzv. suvremene egzogene procese. Oni djeluju na teren u kojem i na kojem želimo graditi. S obzirom na mjesto nastanka egzogeni procesi mogu biti padinski, fluvijalni, marinski, glacijalni, eolski i krški. Posljedice djelovanja navedenih procesa očituju se u stvaranju denudacijskih i akumulacijskih reljefnih oblika. Navedeni procesi su uglavnom trajni procesi koji rezultiraju različitim oblicima reljefa. Promjene oblika reljefa se pojavljuju djelovanjem voda tekućica, kiše, morskih valova, snijega, mraza, vjetrova, vegetacije i organizama, čovjeka, kao i temperaturnih razlika. S obzirom da su navedene pojave svakodnevne naravi potrebno ih je istraživati, nadgledati, preventivno djelovati, planirati, graditi i, ukoliko je potrebno, provesti sanaciju istih. Inženjer geolog temeljem inženjersko geoloških istraživanja predviđa što sve može utjecati na neki objekt tijekom projektiranja, izgradnje i korištenja objekta.

Ključne riječi

egzogeni procesi, trošenje, destrukcija, akumulacija, inženjer geolog

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Egzogeni procesi i inženjerska geologija	2
3. Pregled suvremenih egzogenih procesa.....	4
4. Egzogeni procesi prema mjestu nastanka.....	6
4.1. Padinski procesi	6
4.2. Fluvijalni procesi.....	9
4.3. Marinski procesi.....	12
4.4. Glacijalni procesi	16
4.5. Eolski procesi	19
4.6. Krški procesi	21
5. Mogućnosti sanacije posljedica egzogenih procesa	26
5.1. Sanacija klizišta gabionskim zidovima	27
5.2. Sanacija klizišta na željezničkoj pruzi između kolodvora Karlovac i Mrzlo polje	28
5.3. Sanacija klizišta na području Varaždinske županije – Općina Bednja	31
6. Zaključak	33
7. Literatura	34
Popis slika	36
Popis tablica	38

1. Uvod

Reljef nastaje pod utjecajem endogenih (unutrašnjih) i egzogenih (vanjskih) sila i procesa, klime i čovjeka. Egzogene sile čine Sunčeva energija i gravitacija koje izravno ili neizravno uzrokuju kemijske i mehaničke promjene u reljefu. Do reljefnih promjena dolazi zbog djelovanja voda tekućica (povremene bujice i potoci; trajne rijeke i jezera), kiše, morskih valova, snijega (ledenjaci, lavine), mraza, vjetra (erozija, sedimentacija prapora, lesa), vegetacije, organizama, temperaturnih razlika i čovjeka. Egzogenim procesima smatramo eroziju, koroziju, abraziju, denudaciju i akumulaciju, dok po mjestu nastanka egzogene procese možemo podijeliti na padinske, fluvijalne, marinske, glacijalne, eolske i krške (Meaški 2015).

Inženjerska geologija se prikazuje kao jedna od bitnih znanstvenih disciplina za inženjerstvo tla u širem smislu. Iako je bazirana na neinženjerskom znanstvenom polju, inženjerska geologija je na hijerarhijskoj ljestvici smještena na istoj razini s mehanikom tla i mehanikom stijena i u velikoj su međuovisnosti. Zbog toga inženjerska geologija danas ima značajnu ulogu pri određivanju geoloških uvjeta za izvođenje inženjerskih radova i eksploataciju objekata pri čemu je potrebno dobro poznavanje geneze prostora. Na temelju brojnih shematizacija prirodnih uvjeta i događaja olakšava se realizacija sanacije i rješavanje geoloških problema građevinskih objekata nastalih suvremenim egzogenim procesima kao što su erozija, abrazija, denudacija i akumulacija. Inženjer geolozi su ujedinjeni s ostalim inženjerima u geotehnici u sveobuhvatnom zajedničkom cilju kreiranja geološki i tehnički održivog, jeftinog i sigurnog inženjerskog rješenja (Bock, 2016).

2. Egzogeni procesi i inženjerska geologija

Egzogeni procesi su svi procesi koji izvana mijenjaju reljefne oblike nastale endogenim procesima. Rezultat svih takvih procesa je stvaranje destruktivskih i akumulacijskih reljefnih oblika. Djelovanje egzogenih procesa najviše ovisi o klimi, nagibu zemljišta, mehaničkoj i kemijskoj otpornosti stijena te njihovoj vodopropusnosti. Oblikovanje reljefa će osim o aktivnim, ovisiti i o pasivnim čimbenicima koji obuhvaćaju litološki sastav stijena, geološku građu i klimu (Tandarić, 2010).

Trošenje obuhvaća destruktivne procese koji mijenjaju fizičke i kemijske karakteristike stijena na površini ili blizu nje. Takvi procesi svojim djelovanjem pretvaraju čvrste stijene u destruktivni, rastresiti materijal, uglavnom pod atmosferskim utjecajima. Postoji više vrsta trošenja, no glavna podjela je na mehaničko ili fizičko i kemijsko trošenje, dok ostale vrste obuhvaćaju diferencijalno, dubinsko, organogeno i druge vrste trošenja.

Mehaničko ili fizičko trošenje je skup procesa kojima se stijene lome na manje komadiće, a da im se ne mijenja kemijski sastav. Pritom im se površina povećava, no obujam se ne mijenja. Navedeno trošenje je raznoliko i ovisi o agensu koji djeluje. Tako imamo utjecaj insolacije, leda, eksfolijaciju, utjecaj valova, rijeka, vjetra, ledenjaka i utjecaj biljaka. Insolacija se odnosi na izravan utjecaj temperature. Stijena se troši zbog neprestanih izmjena visokih i niskih temperatura. Zagrijavanjem se povećava površina stijene što uzrokuje njeno pucanje. Utjecaj leda je također prouzročen temperaturom, ali neizravno. Poznato je da led ima veći obujam od vode pa kad dođe do zaleđivanja pukotinske vode, novonastali ih led širi i stijene pucaju. Eksfolijacija je potpuna promjena uvjeta koja uzrokuje trošenje. Primjerice, magmatske stijene nastaju pod utjecajem visokog tlaka i temperature, a denudacijom dolaze na površinu gdje se tlak smanjuje i tada dolazi do eksfolijacije odnosno ljuštenja stijena na tanke slojeve u smjeru najmanjeg otpora. Utjecaj valova, rijeka, vjetra, ledenjaka također uzrokuje trošenje. Voda kroz eroziju, valovi abraziju, vjetar koroziju, a ledenjaci egzaraciju.

Kemijsko trošenje se može podijeliti na dvije osnovne vrste: hidrolizu i koroziju. Hidroliza ili silikatno trošenje je najznačajniji oblik kemijskog trošenja koji možemo definirati kao razlaganje tvari pomoću vode pri čemu nastaju dvije ili više novih tvari. Dok s druge strane, korozija, disolucija ili otapanje je trošenje vodom prokapnicom.

Najčešće se manifestira u pješčenjacima zbog poroznosti. Uzrokuje otapanja blokova vapna ili mramora pri čemu korozija odnosi mekani materijal i nastaje oblik saća u stijeni. Od ostalih trošenja potrebno je naglasiti diferencijalno trošenje i trošenje solju koje se manifestira u zonama izmjena vlažnih i suhih razdoblja. Evaporacija vode na površini i pojava kapilarnog efekta uzrokuje kristalizaciju soli iz slane otopine pa nastaju tanke, čvrste kore. Diferencijalno trošenje podrazumijeva selektivnu eroziju što nam govori da se različite vrste stijena u jednakim uvjetima različito troše.

Čimbenici o kojima ovisi trošenje su: klimavarijanca koja podrazumijeva utjecaj temperature, vlage i količine padalina, zatim epirovarijanca koja u obzir uzima utjecaj strukture stijene jer je trošenje veće u područjima u kojima ima više rasjeda i pukotina te petrovarijanca koja u obzir uzima litološki sastav stijene koji djeluje na otpornost stijena prema trošenju na mjestu i denudaciji (Tandarić, 2010).

Navedeni procesi često narušavaju realizaciju planiranih geotehničkih zahvata što uvelike ističe važnost inženjerske geologije. Inženjerska geologija je znanost koja se bavi istraživanjem i rješavanjem inženjerskih problema i problema vezanih za okoliš koji mogu nastati kao rezultat interakcije između geološkog okoliša i inženjerskih radova (ljudskih aktivnosti), kao i predviđanjem geoloških hazarda, razvojem mjera zaštite od hazarda ili mjera njihova ublažavanja. Možemo reći da inženjerska geologija sjedinjuje i interpretira rezultate istraživanja i u drugim znanstvenim disciplinama kao što su hidrogeologija, mehanika tla, mehanika stijena, tehnička petrografija, seizmologija, pedologija itd. Uloga inženjerske geologije je izrada geotehničkih modela koji uključuju rješenja za sigurnost stambenih, trgovačkih i industrijskih građevina, nužnu opskrbu energijom i mineralnim resursima, ublažavanje geoloških hazarda, ublažavanje opasnosti izazvanih čovjekovom aktivnošću, učinkovito funkcioniranje inženjerske infrastrukture, doprinos održivom okolišu itd. Poznavanje geoloških procesa i svijest o prirodnom okruženju kroz rad na terenu daje inženjer geolozima ključnu nadležnost u prevenciji geološkog hazarda i u pitanjima geookruženja.

3. Pregled suvremenih egzogenih procesa

Erozija ili mehaničko razaranje je proces kojim se stijena troši i raspada na manje komadiće, a pritom se stijeni ne mijenja kemijski sastav. Erozija može biti uzrokovana vodom, ledom i snježnim lavinama, vjetrom i radom čovjeka. Erozija vodom manifestira se u obliku kiše (regionalna erozija) i obliku vodenih tokova (fluvijalna erozija), dok se erozija ledom i snježnim lavinama manifestira glacijalnom erozijom, točnije snagom ledenjaka. Erozija vjetrom pojavljuje se kao eolska erozija, a krčenjem vegetacije, sječom šuma, nepravilnom obradom zemljišta i neracionalnom ispašom čovjek povećava utjecaj erozije na prirodu i do 150 puta (Tandarić, 2010). *Selektivna erozija* manifestira se djelovanjem vode na stijensku masu koja ovisno o njenim fizičko-mehaničkim svojstvima lakše troši i erodira mekše nevezane i poluvezane stijene, a teže čvrste. Kombiniranim djelovanjem fluvijalne i pluvijalne erozije u tektonikom razlomljenim karbonatnim stijenama usitnjavaju se i odnose dijelovi stijenske mase što prouzrokuje nastajanje specifičnog krškog reljefa s brojim morfološkim pojavama.

Abrazija

Abrazija je destruktivski geomorfološki proces oblikovanja obalnog reljefa djelovanjem mora ili jezera. Izraženo destruktivno djelovanje valova rezultira razaranjem obalnih stijena, njihovim odnošenjem i taloženjem nakon kraćeg vremena. Što je obala strmija, a stijena manje otporna, to je proces intenzivniji. Nakupljanjem razorenog materijala tako nastaju šljunčane i pješčane plaže. Glavni uzročnici abrazije su mlat valova, plima i oseka te morske struje. Valovi imaju najznačajniji utjecaj u oblikovanju obala jer obavljaju denudaciju, transport i sedimentaciju. Morske mijene, odnosno plima i oseka najveći utjecaj imaju u plitkim zaljevima koji se sužavaju prema kopnu, a djeluju kroz bioeroziju tj. djelovanjem organizama. Morske struje imaju općenito nešto manji utjecaj.

Denudacija

Denudacija je proces koji međusobno povezanim djelovanjem atmosferskih voda, površinskih tokova, leda, insolacije, vjetra i organizama rezultira ogoljavanjem, zaravnanjem i snižavanjem kopnenih masa uslijed trošenja, erozije i pri tome uzrokuje premještanje erodiranog materijala. Većina razorenog stijenskog materijala vodenim

tokovima dospijeva u more. Godišnje količine razorenog materijala su izuzetno velike (Tablica 1.).

Tablica 1. Količina denudacije na kontinentima (prema Lopatinu, 1950)

Kontinent	Površina (mil. km²)	Mehanička denudacija (t/km²/god)	Kemijska denudacija (t/km²/god)
Europa	9,67	43	32
Azija	44,89	166	42
Afrika	29,81	47	25,2
Sjeverna Amerika	20,44	73	40
Južna Amerika	17,98	93	55
Australija	7,96	32,1	11,3
Svijet	130,75		

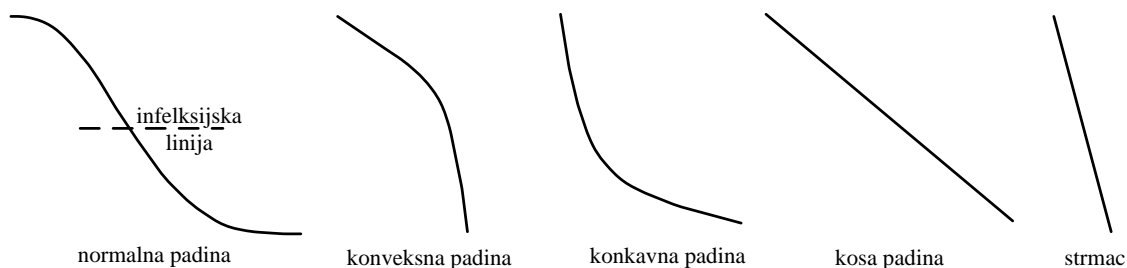
Akumulacija

Akumulacija je proces kojim se dio prenesenog materijala nakuplja u depresijama i dolinama vodenih tokova. Veće količine riječnih nanosa se akumuliraju u donjem dijelu toka jer je tamo energija vode oslabljena.

4. Egzogeni procesi prema mjestu nastanka

4.1. Padinski procesi

Svi nagnuti dijelovi na Zemljinoj površini nazivaju se padinama. Ti dijelovi su pod stalnim djelovanjem egzogenih procesa što opravdava njihovo stalno modeliranje. Prema obliku padine mogu biti normalne, konkavne, konveksne, kose, strmci i složene padine (Gall i sur. 2014).



Slika 1. Tipovi padina prema obliku doradjeni prema Tandariću (Tandarić, 2010)

Padinski procesi najčešće rezultiraju pojavom klizišta. Površina klizanja može imati različiti oblik koji ovisi o značajkama stijena u kojima je došlo do pomicanja masa niz padinu (Slika 1.). Faktori koji utječu na formiranje klizišta su promjene u nagibu padine, promjene opterećenja na padini, udari i vibracije, promjene sadržaja vode u terenu, promjene u vegetaciji i trošenje stijena.



Slika 2. Klizište u Californiji (preuzeto s: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-4563446/Big-Sur-landslide-added-13-acres-California-s-coastline.html> 02.09.2017.)

Derazija je skupni naziv za sve destruktivne procese koji se odvijaju na padinama. Tri su skupine padinskih procesa. Gravitacijski pokreti koji obuhvaćaju urušavanje, osipanje i stijenske lavine, zatim procesi puzanja i tečenja zemljišta, te procesi spiranja i jaruženja.

Gravitacijski pokreti i reljefni oblici su pokreti stijenskih masa i trošina koji obuhvaćaju kretanje rastresitog materijala niz padinu zbog trošenja i utjecaja gravitacije. U gravitacijske pokrete spadaju urušavanje, osipanje i stijenske lavine. Urušavanje se definira kao padinski proces koji se veže uz strmce, a do urušavanja dolazi zbog gubljenja stabilnosti stijenske mase. To je jedini trenutni događaj među padinskim procesima. Osipanje je gravitacijski pokret niz padinu koji nastaje zbog sezonskih i dnevnih razlika u temperaturi vode u pukotinama. Zbog navedenog razloga nalazi se na južno eksponiranim padinama. Stijenske lavine su lavine velikih brzina koje se javljaju u vršnim dijelovima planina i strmih ledenjačkih dolina. Lavine su prouzročene promjenama temperature i atmosferskog tlaka čime se stijenska masa destabilizira zbog novonastalih pukotina.

Procesi spiranja i jaruženja su posljedica destruktivnog djelovanja padalinske vode na padini pod utjecajem gravitacije. Spiranje je najizraženiji padinski ili derazijski proces. Do spiranja dolazi pod utjecajem padalinskih voda i tekućica koje odnose usitnjeni rastrošeni materijal u niže dijelove. Jači oblik spiranja nazivamo jaruženje. Dakle, spajanjem većeg broja kišnih mlazova nastaju bujice koje svojom snagom odnose ogromne količine rastresitog materijala. Tim otjecanjem dube se jaruge.

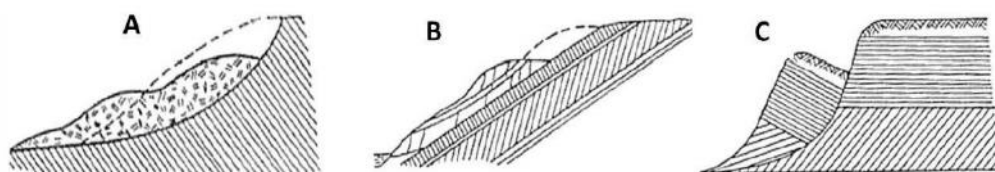
Procesi puzanja, tečenja i klizanja zemljišta se odvijaju pod utjecajem gravitacije, ali se vremenski dulje odvijaju nego gravitacijski pokreti pa imaju i drugačije posljedice za reljef. Puzanje zemljišta je proces sporog kretanja tla niz padinu, 1-2 cm godišnje, ovisno o vrsti tla i vegetaciji (Tandarić, 2010). Taj proces bit će najuočljiviji na padinama prekrivenim šumskom vegetacijom, gdje će doći do povijanja stabala u donjim dijelovima. Tečenje ili soliflukcija je proces u kojem zbog stalno zaleđenog tla u dubljim dijelovima podloge dolazi do tečenja površinskog rastresitog materijala.

Klizanje zemljišta je padinski proces koji nastupa iznenada (Slika 2.). Prilikom puštanja materijala stvara se snažan tlak i velika razorna snaga. Uglavnom se veže za minerale gline. Postoje brojne teorije podijele klizišta. Danas je dostupno više od 200 različitih klasifikacija od kojih su neke od najvažnijih one od Savarenskog (1935);

Terzaghija (1950); Varnesa (1978); Hansena (1984); itd. do novijih kao što su Cruden i Varnes (1996) (Peševski i sur. 2015).

Klizišta se prema Savarenskom dijele na (Slika 3.):

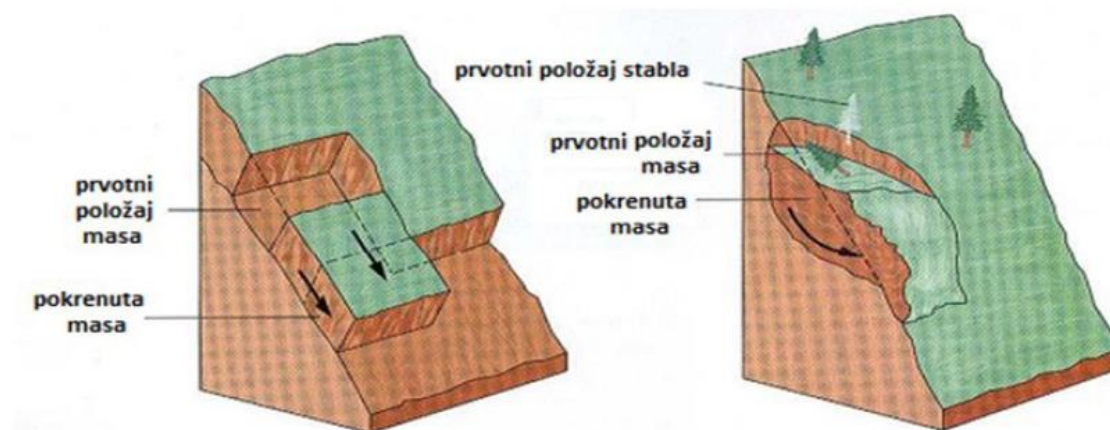
- Asekventna (A): nastala u istovrsnom materijalu s približno kružnocilindričnim oblikom klizne plohe
- Konsekventna (B): nastala u stijenskim masama različitih fizičko-mehaničkih značajki ili u istovrsnom materijalu po kliznim plohama
- Insekventna (C): nastala u stijenskim masama različitih fizičko-mehaničkih značajki



Slika 3. Vrste klizišta prema Savarenskom (Savarenski 1935)

S obzirom na nagib klizišta mogu se formirati vrlo blage padine čiji nagib je manji od 5° , blage padine čiji je nagib u rasponu od 5° do 15° , strme padine čiji je nagib od 15° do 45° i vrlo strme padine čiji je nagib veći od 45° .

Prema Summerfieldu (1991) klizišta se mogu podijeliti na rotacijska i translacijska klizišta (Slika 4.). Translacijska imaju planarnu kliznu plohu, a rotacijska imaju konkavnu kliznu plohu.



Slika 4. Translacijsko klizište (lijevo) i rotacijsko klizište (desno) (preuzeto s: <https://www.slideshare.net/KaustubhSane/landslides-33583687> 03.07.2017.)

4.2. Fluvijalni procesi

Fluvijalni procesi su procesi koji oblikuju reljef radom vodotoka, točnije djelovanjem tekućica i spiranjem padina. Tekućice većinom ovise o atmosferskoj vodi. Djelovanjem te vodne mase oblikuje se reljef. Fluvijalnim procesima nastaju fluvijalni oblici direktno oblikovani utjecajem vodotoka, pa tako nastaju i fluviudenudacijski oblici, kao što su doline, koji nastaju uzajamnim djelovanjem fluvijalnih i derazijskih procesa. Destrukcijsko djelovanje vodotoka pri kojem tekućica usijeca i produbljuje tok u stijenskoj podlozi naziva se erozija. Ako su u toku prisutni vodopadi, doći će do regresijske erozije. Regresijskom erozijom potkopava se prag vodopada zbog snažnog pada vode i materijala. Gornji dio koji je nepropustan se urušava i dolazi do unazadnog pomicanja vodopada.

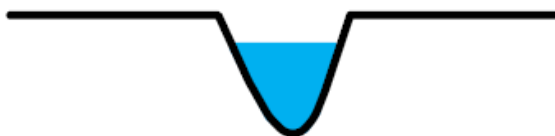
Destrukcijski utjecaj tekućice reprezentira se u destruktivskim fluvijalnim procesima predvođenim riječnom erozijom. Riječna je erozija proces pri kojem tekućica usijeca i produbljuje tok stvarajući tako riječnu dolinu. Oblik i intenzitet riječne erozije ovisi o području toka u kojem djeluje (Gall i sur. 2014). Tako postoji mehanizam voda u gornjem, srednjem i donjem toku. Mehanizam ovisi o padu i brzini vode u koritu što prouzrokuje različite destruktivske i akumulacijske procese u različitim dijelovima toka (Tandarić, 2010). *Mehanizam voda u gornjem toku* najbolje reprezentira dubinska erozija. Zbog većih nagiba, veća je kinetička energija, brzina i pad vode su veliki i dolazi do dubinskog usijecanja korita kojim nastaje V profil (Slika 5.).



Slika 5. V profil korita

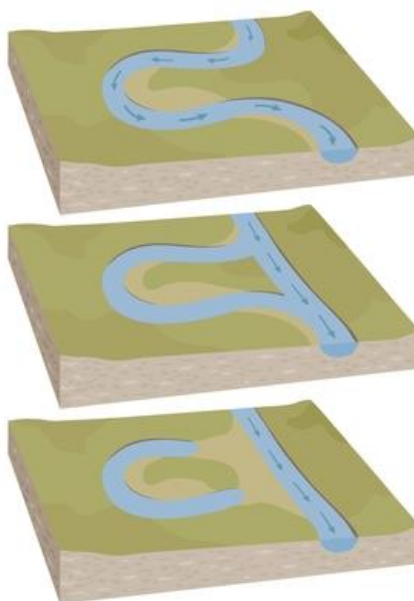
Na području prijelaza otpornih stijena u područje mekih česti su pregibi na kojima nastaju brzaci i slapovi te odsjeci na kojima nastaju vodopadi. Vodopad je pad riječne vode iz višeg u niže korito uz čestu riječnu eroziju dok je slap stubasto prelijevanje toka.

Mehanizam voda u srednjem toku rezultira smanjenjem dubinske erozije i jačanjem bočne, kao i pojavom akumulacije. Bočnom erozijom prouzrokuje se U profil korita (Slika 6.).



Slika 6. U profil korita

Zajedničkim djelovanjem erozije i akumulacije pojavljuje se vijuganje odnosno meandriranje toka tekućice. Riječni zavoji koji nastaju prilikom tog vijuganja nazivaju se meandri. Bočna erozija na konkavnim stranicama tog toka je tada sve veća, što dovodi do procesa gdje rijeka počinje „kratiti“ svoj put, a protok vode nestaje. Tako nastaju jezera potkovastog oblika tj. mrtvaje (Slika 7.).



Slika 7. Nastajanje mrtvaje (preuzeto s: <http://worldlandforms.com/landforms/oxbow-lake/> 04.07.2017.)

Mehanizam voda u donjem toku ističe se po dominaciji akumulacija zbog kojih korito postaje pliće i šire, a pri tome dobiva prošireni U profil (Slika 8.).



Slika 8. Prošireni U profil korita

Nagib, brzina i transportna moć se smanjuju i nastaje sitniji materijal. U ovom dijelu toka meandri su najučestaliji (Tandarić, 2010).

Djelovanjem toka vode nastaju reljefni oblici koji su po postanku erozijski tj. destrukcijski, akumulacijski ili destrukcijsko-akumulacijski. Destrukcijske ili erozijske oblike reljefa čine riječna dolina, riječno korito i riječne terase. Pod te erozijske oblike spadaju i pojedini tipovi ušća kao što su estuariji. Pod akumulacijske fluvijalne reljefne oblike spadaju prirodni nasipi, hidrodine, sprudovi, ade i aluvijalne ravnice.

Riječna dolina je osnovni oblik koji nastaje razornim djelovanjem rijeka. Na njeno oblikovanje utječu reljef, tektonske i klimatske promjene i geološki sastav stijena. Prema uzdužnom profilu doline mogu biti jednostavne i složene. Jednostavne doline se postupno šire od izvora prema riječnom ušću, dok se složene izmjenično šire i sužavaju od izvora do ušća. S obzirom na pružanje glavnih reljefnih oblika doline se dijele na transverzalne (poprečne) i longitudinalne (uzdužne). Transverzalne doline presijecaju glavne oblike reljefa pod određenim kutom dok se longitudinalne pružaju usporedno s pružanjem glavnih oblika reljefa. *Riječno korito* definiramo kao žljebasto udubljenje u smjeru maksimalnog pada kojim otječe voda. Korito ima dno i dvije strane korita. Postoji više vrsta uzdužnih profila korita čiji oblik ovisi o odnosu akumulacijskog i destrukcijskog procesa. Profil korita može biti inicijalni, kojeg karakterizira jaka izlomljenost i velike promjene u padovima, neusuglašeni, koji ima veće ili manje padove s nepravilnom erozijom, usklađeni, koji se odlikuje pravilnim paraboličnim izgledom, i završni profil koji predstavlja idealan izgled toka kada erozija više ne djeluje (Tandarić, 2010). *Riječne terase* se pojavljuju na dolinskim stranama kao zaravnjeni dijelovi tj. ostaci starog dolinskog dna (Slika 9.). Tijekom najviših vodostaja ne dolazi do poplavlivanja terase jer su one strmcem odvojene od riječne terase. Terasa mogu biti erozijskog i akumulacijskog postanka. Erozijske terase se usijecaju izravno u živu stijenu, dok se akumulacijske usijecaju u vlastiti nanosni materijal što rezultira šljunkovitošću tih terasa.



Slika 9. Riječna terasa rijeke Dovey u Walesu (preuzeto s: <https://geographvas.info/rivers/rejuvenation/> 02.09.2017.)

Ušća su završni reljefni oblik tekućica prije njihovog ulijevanja u drugu rijeku. Osnovni tipovi ušća koje poznajemo su estuariji i delte. *Delte* nastaju zbog slabljenja transportne moći sedimentacijom fluvijalnog materijala. Njihov oblik ovisit će o tome je li jači utjecaj rijeke ili mora. *Estuarij* je definiran kao prošireno riječno ušće ljevkastog oblika čiji oblik definira privremeno ili trajno izdizanje morske razine potapanjem najnižeg dijela riječne doline. Akumulacijske fluvijalne reljefne oblike susrećemo kao *hidrodine*, nanosi pijeska koji nastaju njegovim nakupljanjem i imaju blaže nagibe prema izvoru, a strmije prema ušću, kao *sprudove*, koji nastaju spajanjem hidrodina i kao *ade* koje definiramo kao akumulirane otočne oblike u koritu rijeke.

4.3. Marinski procesi

Uzak pojas kopna koji graniči s morem ili jezerima nazivamo obala. Na nastanak obale utječe rad morskih i jezerskih valova. Njihovim djelovanjem nastaju marinski procesi koji oblikuju brojne destruktivne i akumulacijske oblike. Obala na zemlji ima dužinu nešto veću od 500.000 km i najveći dio te obale nastao je tijekom dugih geoloških procesa koji su oblikovali obalu destruktivnim ili razarajućim djelovanjem valova. Izraženo u postocima, takvih bi obala bilo 86 %, dok bi onih obala koje su nastale akumulacijom ili taloženjem otpada ispalo 14 % cjelokupne svjetske obale (Gall i sur. 2014).

Abrazijski procesi

Valovi jesu osnovni pokretač oblikovanja obalnog reljefa te nastaju na površini mora i jezera djelovanjem vjetra. Vjetar može biti vrlo snažan što rezultira jakim djelovanjem istog na obalu čime se ona pomiče i postupno razara. Takav razorni rad valova naziva se *abrazija*. Djelovanje abrazije najizraženije je na strmim obalama jer su one izložene stalnim udarima vjetrova. Tako su najrašireniji abrazijski oblici koje susrećemo na obali klif, valna potkapina, abrazijska terasa, žal i ostenjak (Slika 11.) (Gall i sur. 2014).

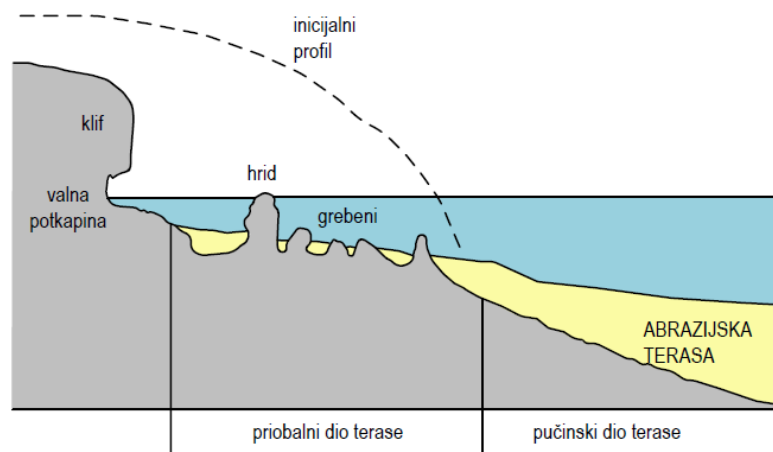


Slika 10. Klifovi Mohera u Irskoj (preuzeto s: <http://www.travelandleisure.com/attractions/the-cliffs-of-moher-ireland> 02.09.2017.)

Destrukcijski (abrazijski) oblici obala

Klif ili obalni strmac je strmi stjenoviti odsjek nagiba većeg od 55° (Tandarić, 2010). Nastaje na području mekih stijena razornim djelovanjem valova (Slika 10.). Naravno, postojanost klifova ovisi o priobalnim strujama, kao i tektonskim pokretima. *Valna i plimna potkapina* nastaje u visini udara valova o klif što rezultira stalnim produbljivanjem potkapine. Dakle potkapina je izdubljeno konkavno udubljenje na strmoj stjenovitoj obali. U zoni plime i oseke nastaju plimne potkapine djelovanjem abrazije, erozije i bioerozije. *Abrazijska terasa* je destrukcijski oblik obale koji nastaje destrukcijom, korazijom i usitnjavanjem materijala koji se odlama sa klifova djelovanjem valova. Ispod klifa se tako more oplicuje zbog akumuliranja usitnjenog materijala te nastaje podmorska zaravan paralelna s obalom. Upravo ta zaravan je abrazijska terasa. *Žal* je zapravo širok plitki pojas sastavljen od pijeska i šljunka duž čitave obale. Nastaje kad more podno klifa postane pliće zbog akumulacije pijeska i šljunka što prouzrokuje da val gubi svoju snagu te se razlijeva preko akumuliranog

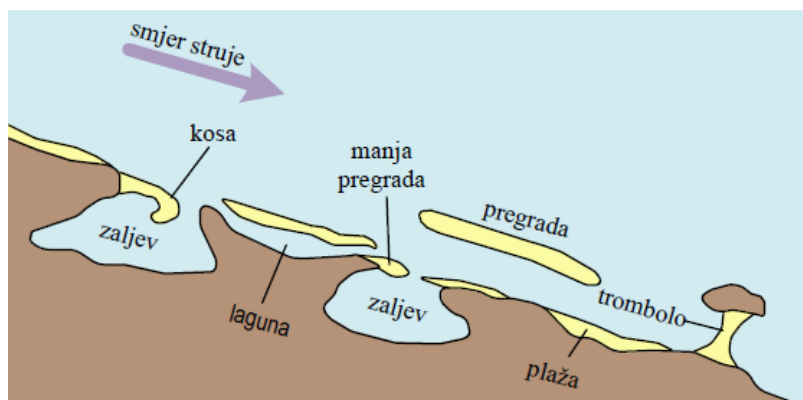
materijala pritom jedva sežući do klifa. Od važnijih oblika ostali su ostenjaci. Ostenjaci su nešto otporniji dijelovi stijene koji se nisu usitnili i razrušili do kraja, već strše iznad razine mora usred abrazijskih zaravni.



Slika 11. Shema destruktivskih oblika obale dorađena prema Tandariću (Tandarić, 2010)

Akumulacijski oblici obala

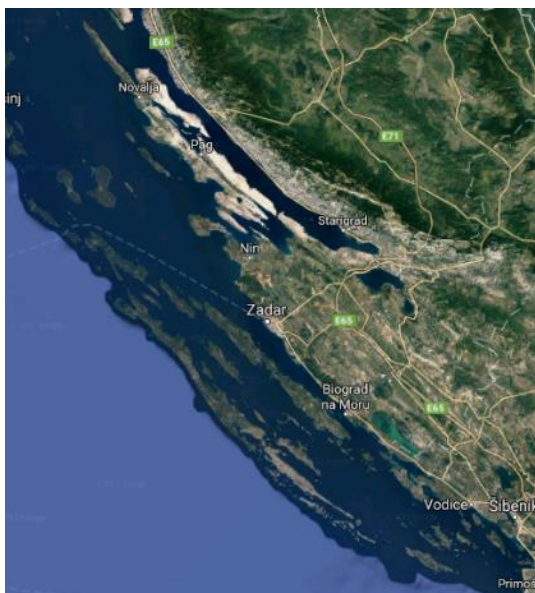
Akumulacijski oblici obala najčešće nastaju na niskim obalama pri čemu dolazi do prestanka prijenosne moći vala, morskih mijena ili morskih struja. Sam naziv takvih obala nam govori da se radi o akumuliranju određenog materijala, u ovom slučaju pijeska i šljunka. Nakupine takvih materijala nazivaju se sprudovi pa možemo reći da je osnova svih akumulacijskih oblika obale sprud. Sprud definiramo kao asimetrični oblik sastavljen od rastresitog materijala u plitkom podmorju. Akumulacijski oblici obala pojavljuju se u obliku sprudova, koji svojim daljnjim oblikovanjem stvaraju neke nove oblike kao što su pregrade, lagune, limani, kose, prevlake i tomboli (Slika 12.).



Slika 12. Shema akumulacijskih oblika obale doradana na preuzeti sadržaj (preuzeto s: <http://thebritishgeographer.weebly.com/coasts-of-erosion-and-coasts-of-deposition.html> 27.07.2017.)

Vrste obala

S obzirom na postanak obale mogu biti abrazijske, ingresijske, organogene i kombinirane. Na područjima gdje je prisutno intenzivno razorno djelovanje valova nastaju *abrazijske obale* koje sadrže iznad navedene destruktivne oblike. *Ingresijske obale* su nastale potapanjem čiji je uzrok u većini slučajeva bilo posljednje ledeno doba. Zbog uzdizanja razine mora (oko 120 metara) nastale su tektonske i ingresijske obale (Gall i sur. 2014). Tektonske su nastale potapanjem epirogenih, rasjednih, nabiranih, vulkanskih ili potresnih područja. Valja napomenuti da dalmatinski tip obale spada u potopljeni tip naborane obale u kojem su niži dijelovi kopna postali kanali i zaljevi, dok su viši predjeli postali otoci i poluotoci (Slika 13.). Dakle, smjer pružanja Dinarskog gorja se podudara s pružanjem jadranskih otoka. Takav slučaj je jedinstven u svijetu, što opravdava navedeni naziv obale. Erozijske ingresijske obale su također nastale potapljanjem, ali potapljanjem reljefa koji je nastao djelovanjem erozije. One se mogu podijeliti na fluvijalne, glacijalne, krške i eolske. Kada spominjemo specifičnost naših obala potrebno je istaknuti i krške ingresijske obale. One se javljaju u krškim područjima koja je potopila morska voda. Što se tiče eolskih ingresijskih obala, oblikuju se potapanjem udubina između pustinjskih uzvisina (dina). S obzirom na postanak spominju se i *organogene obale*. One se ističu po oblicima koji su nastali djelovanjem biljaka ili životinja. Najistaknutiji tipovi takve obale su koraljni tip obale i obale s mangrovama (trava, mnogo korijenja).



Slika 13. Snimka satelita - dalmatinski tip obale (Google karte 26.07.2017.)

4.4. Glacijalni procesi

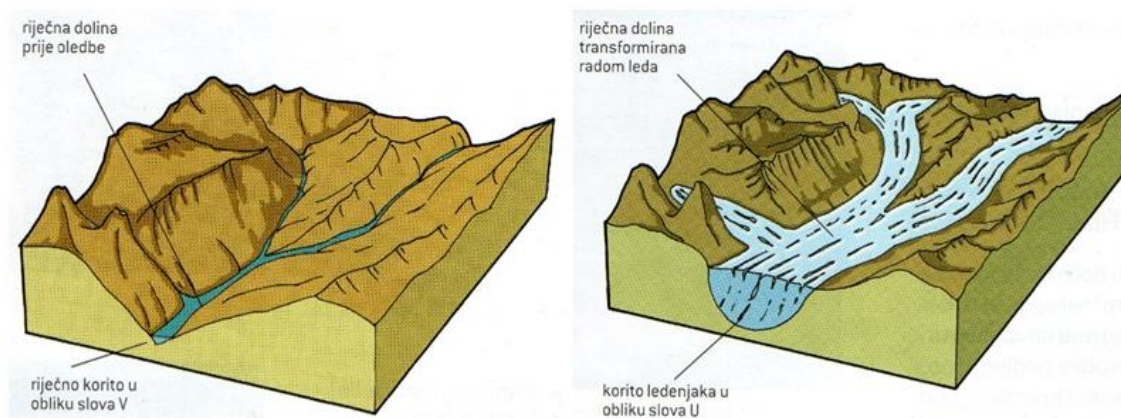
Otpriblike desetinu kopnenog dijela našeg planeta zauzimaju glacijalni oblici reljefa. Oni zauzimaju oko 16 milijuna km² Zemljine površine (Gall i sur. 2014). Led je oblikovao reljef na brojnim područjima na Zemlji gdje se danas led vrlo rijetko pojavljuje ili uopće ne postoji. To oblikovanje odvijalo se tijekom glacijala. Glacijale su hladnija geološka razdoblja. Glacijalni reljef oblikuje se radom ledenjaka u polarnim i subpolarnim područjima. Razaralački rad ledenjaka nazivamo egzaracija. Glacijalni reljefni oblici mogu biti akumulacijski i destruktivski tj. egzaracijski.

Destruktivski oblici glacijalnog reljefa

Egzaracijom ledenjaci zaobljuju, produbljuju i ustrmljuju podlogu, a njihov intenzitet ih klasificira u najefikasnije denudacijske mehanizme na Zemlji (Slika 15.). Destruktivske reljefne oblike dijelimo na makrooblike i mikrooblike. U makrooblike spadaju cirkovi i glacijalne doline dok u mikrooblike spadaju uglančane površine, strije i komčići (Tandarić 2010).

Cirkovi ili kotlovi ili krnice su udubljenja u kojima se akumulirao snijeg koji je s vremenom prekrystalizirao u glacijalni led. Cirk je zapravo izvoriste ledenjaka.

Ledenjaci se kreću područjima manjeg otpora što riječne doline čini idealnima za njihovo kretanje. Takve doline imaju V profil, ali ledenjaci svojim kretanjem preoblikuju dolinu u U profil (Slika 14.). Takve doline nazivamo *glacijalnim dolinama* ili *valovima*. One počinju od cirka i spuštaju se do čela ledenjaka.



Slika 14. Riječna dolina prije oledbe (lijevo) i riječna dolina transformirana radom leda (desno) (Gall i sur. 2014)

Akumulacijski oblici glacijalnog reljefa

Najučestaliji akumulacijski oblici glacijalnog reljefa su morene, eratički blokovi, terminalni bazeni, kotlići i drumlini.

Morene su akumulacijske forme izgrađene od materijala koji nosi ledenjak. One mogu biti veličine finih čestica ili velikih stijena i gromada. Najčešće su smještene na rubove ledenjaka (rubne), u unutrašnjosti (unutrašnje, temeljne ili podinske) ili na vrhu (čeone ili završne) (Gall i sur. 2014). Otapanjem ledenjaka, tekuća voda transportira povelike količine erodiranog materijala i pritom ga taloži na velikoj blago nagnutoj površini koja se nalazi na kraju ledenjaka. To je područje iza čela ledenjaka, okruženo je morenom i nazivamo ga *terminalni bazen*. *Drumlini* su zapravo dio podinske morene, a definiraju se kao izdužene akumulacije tla u smjeru kretanja ledenjaka. Ledenjaci svojim kretanjem skupljaju komadiće stijena pri dnu ledenjaka. Taj nakupljeni dio pri daljnjem prelasku ledenjaka se polira dok se daljnjom egzracijom odnose novi sitni komadići stijena. Ti komadići nazivaju se *glacijalno brašno*. Ukoliko ledenjak ponese i veće komade stijena, tada te stijene nazivamo *eratičkim blokovima*.

Uz glacijalne akumulacijske oblike, u reljefu se oblikuju i fluvioglacialni oblici. Oni se javljaju nakon povlačenja ledenjaka iz ledenjačke doline gdje tekuća voda nosi sediment i pritom zatrpava riječnu dolinu. Oblici koji spadaju u tu kategoriju su ekseri, kamovi i kotlići.

Zbog novonastalog rastrošnog materijala nastaju tako ekseri ili ozari, izdužene uzvisine, kamovi, koji su zapravo kupolaste nakupine tla i kotlići, zdjelasta udubljenja.

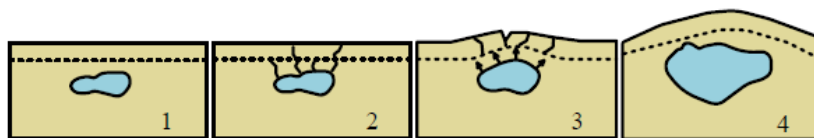


Slika 15. Pogled na ledenjake s vrha Corvatsch, Švicarska (Meaški, 2015)

Periglacijski procesi i reljefni oblici

Periglacijski reljefni oblici nastaju na rubnim glacijalnim područjima gdje je srednja godišnja temperatura niža od 0°C (Gall i sur. 2014). Najrašireniji takav oblik je *stalno smrznuto tlo* (eng. *permafrost*, rus. *merzlot*). Takva područja karakteristična su za tundre Sibira, Aljaske i sjeverne Kanade. Debljina permafrosta može doseći i do nekoliko stotina metara. Ukoliko dođe do otapanja gornjeg površinskog sloja tla tijekom ljetnog razdoblja, može doći do tečenja zemljišta ili gelisoliflukcije (ako je nagib zemljišta veći od 20°) (Gall i sur. 2014).

Što se tiče periglacijskih reljefa, jedan od specifičnih je *pingo*. Definiramo ga kao uzvisinu koja nastaje zbog pojave leda u tlu (Slika 16.). Dakle, tijekom ljeta dolazi do poniranja vode s površine u dublje slojeve permafrosta gdje se pod utjecajem tlaka voda pretvara u led i pri tom istiskuje zemljište iznad sebe.



Slika 16. Faze nastajanja pinga doradene prema Tandariću (Tandarić 2010)

4.5. Eolski procesi

Aktivnost vjetra najčešće se očituje u pustinjama gdje se pojavljuje najveći broj eolskih procesa i oblika. Eolski reljefni oblici nastaju mehaničkim djelovanjem vjetra. Pustinje su najdinamičniji reljef na zemlji i čine oko 20 % kopna. Takva područja primaju manje od 250 mm padalina godišnje i imaju veću količinu isparavanja od količine padalina koje primaju (Meaški 2015). Nazivamo ih aridna područja. Najveća pustinjska područja nalazimo na prostorima Euroazije i Azije. Zbog malo vlage i mnogo sunca dolazi do usitnjavanja stijena što uz aktivnost vjetra prouzrokuje nastajanje destruktivskih i akumulacijskih reljefnih oblika.

S obzirom na geografski položaj, kontinentalnost, reljefnu izoliranost i hladne morske struje uz obalu postoje osnovne vrste pustinja: subtropske, obalne pustinje u kišnoj sjeni i unutarnje. Osim pješčanih postoje i kamenite, šljunkovite i glinovite pustinje. *Hamade* (kamenite pustinje) nazivamo pustinje nastale snažnim djelovanjem vjetrova koji su ogolili stjenovitu podlogu. Pjeskovite pustinje nastale u Aziji nazivaju *kum*, dok u Africi *erg*. Pustinje nastale u zatvorenim zavalama iz kojih je vjetar ispuhao pijesak nazivaju se *seriri* (šljunkovite pustinje). Glinovite pustinje ili *takiri* su vrlo rijetke, a najčešće se nalaze na obalama unutrašnjih mora i jezera.

Razorno djelovanje vjetra očituje se procesima deflacije i korazije. Deflacija je proces ispuhivanja i raznošenja sitnih čestica u smjeru puhanja vjetra, dok je korazija proces gdje čestice koje raznosi vjetar mogu strugati te nagrizzati i rušiti izloženu stijenu ili površine.

Destrukcijski oblici

Destrukcijski oblici pojavljuju se kao regovi, sfinks stijene, gurovi, kamene zaravni, pustinjske saće, tafoni te deflacijska udubljenja i deflacijske kotline. Kako vjetar odnosi

manje čestice, tako ostaje krupno kamenje koje se radom tih istih čestica ogoljava. Ogoljavanjem nastaje kamenje s oštrim bridovima koje se naziva *reg*. *Sfinks stijene* su izdužene aerodinamične stijene koje nastaju djelovanjem korazije na stijenske blokove. Valja napomenuti da ti blokovi često imaju oblik nekog geometrijskog tijela. *Pustinjske gljive ili gurovi* su oblici kod kojih je u prizemnom sloju utjecaj korazije najintenzivniji (Slika 17.). Većinom do 100-150 centimetara jer u tom području ima najviše nošenog pijeska što rezultira užim oblicima pri dnu dok se prema gore šire (Tandarić 2010). Brdo u pustinji koje ima vrlo strme strane nazivamo *kamena zaravan ili mesa*. Ona nastaje tamo gdje otporniji sloj štiti mekši ispod sebe pa možemo zaključiti da predstavlja razinu nekadašnjeg tla. *Pustinjske saće* definiramo kao niz plitkih udubljenja koja izgledom podsjećaju na saće, a posljedica su selektivne korazije u stijenama heterogenog sastava. U takvim stijenama kao rezultat selektivne korazije nastaju i *tafoni* koji predstavljaju veća udubljenja ili šupljine u stijenama kod kojih postoji velika razlika u tvrdoći. Ako nastanu paralelna užljebljenja duboka između dva i šest metara koja se pružaju u smjeru dominantnog vjetra, formirat će se *deflacijska udubljenja* (Tandarić 2010). Ukoliko pak nastanu prostrana udubljenja, nazivat će se *deflacijske kotline*.



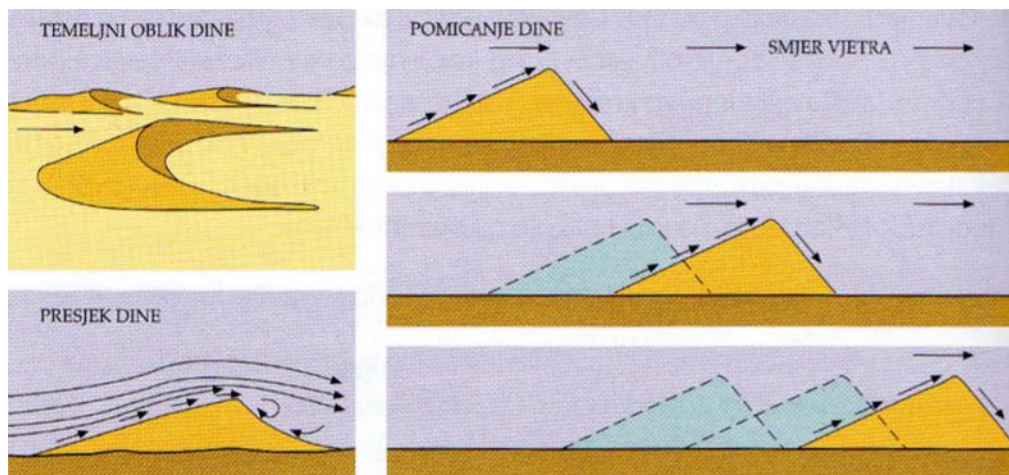
Slika 17. Gur (preuzeto s: <http://desertlandforms.weebly.com/desert-landforms.html> 02.09.2017.)

Akumulacijski oblici

Nastanak akumulacijskih eolskih oblika vezan je za nagomilavanje i oblikovanje pjeskovitih masa u pješčanim pustinjama. Ovi oblici predstavljaju vjerojatno

najdinamičniji tip reljefa na Zemlji upravo zbog slabe povezanosti čestica pijeska. Kada pričamo o akumulacijskim eolskim oblicima, mislimo na dine.

Dine su najznačajniji akumulacijski oblik eolskih reljefa. Dine ili sipine su uzvisine koje nastaju nakupljanjem pijeska na zaravnjenim pustinjskim terenima. Imaju strmiju stranu u smjeru vjetra i stranu blažeg nagiba okrenutu prema vjetru (Slika 18.).



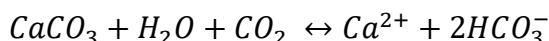
Slika 18. Postanak i pomicanje pustinjskih dinja (Gall i sur. 2014)

S obzirom na oblik, dine mogu biti barhane, transverzalne, parabolične i longitudinalne. Barhana je dina pravilnog polumjesečastog oblika s konveksnom stranom okrenutom prema vjetru. Takva se dina formira kad postoji ograničena količina vjetra. Transverzalna dina orijentirana je okomito na smjer vjetra te se razvija kad postoji više pijeska za transport. Parabolična dina se manifestira kao nepravilan polumjesečast oblik s konkavnom stranom okrenutom prema vjetru. Obično se formira na području gdje se pojavljuje snažan vjetar. Longitudinalne dine ili seifi su najveći oblici i paralelni su sa smjerom vjetra. U Sahari takve dine mogu biti duge i do 120 kilometara i visoke 200 metara (Tandarić 2010).

4.6. Krški procesi

Sam pojam krš se najčešće veže za reljef i hidrografiju vapnenačkih stijena. Proces koji oblikuje krški reljef posljedica su pukotinske cirkulacije vode koja uz pomoć ugljikova dioksida (CO_2) koji u sebi sadržava, otapa čvrsti vapnenac tj. kalcijev karbonat (CaCO_3)

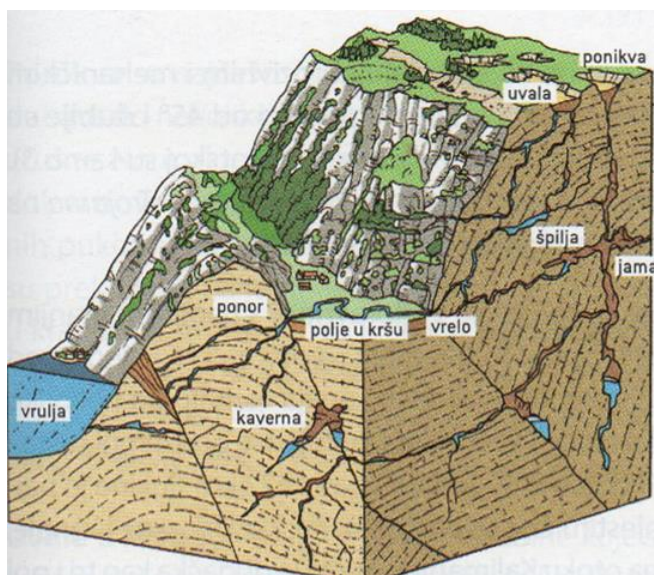
i pretvara u topljiv kalcijev hidrogenkarbonat. Taj proces uzrok je otapanja karbonatnih stijena. Krški procesi mogu biti objašnjeni u kemijskoj jednačbi:



Krš dijelimo na krš umjerenih širina i krš tropskih krajeva, koji se dijeli na podzemne krške oblike i površinske krške oblike (Gall i sur. 2014).

Krš umjerenih širina i krš tropskih krajeva

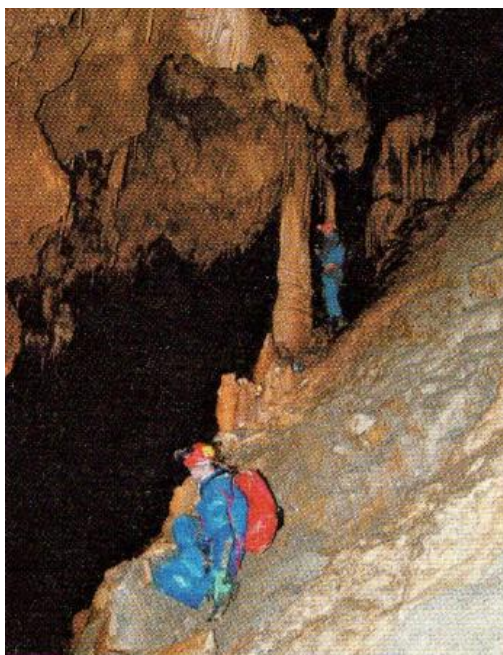
Krš tropskih krajeva tipičan je za prostore tropske vlažne klime jugoistočne Azije i Srednje Amerike. Korozija je u tim krajevima izuzetno brza što rezultira brzim mijenjanjem vapnenaca pa se stvaraju vodoravni oblici kao što su krške zaravni. Usred takvih zaravni uzdižu se usamljene uzvisine strmih padina pa se takav reljef naziva *kupasti krš*. Krš umjerenih širina naziva se još i dinarski krš jer je tipičan za Dinaride koji su većinom građeni od karbonatnih stijena vapnenca i dolomita. Navedene stijene nastale su taloženjem tijekom mezozoika (prije 252-66 milijuna godina), a dijelom i tijekom paleogena (Gall i sur. 2014). U takvom terenu odvija se kemijsko nagrizanje pukotine zbog kojih stijena ne može zadržavati vodu. Naveden proces stvara okomite oblike i vrlo rasprostranjen i složen sustav podzemnih šupljina. U tom području krški oblici se dijele na podzemne i površinske (Slika 19.).



Slika 19. Reljefni i hidrološki oblici u kršu (Gall i sur. 2014)

Podzemni krški oblici

Do stvaranja raznolikih podzemnih oblika dolazi zbog poniranja vode i korozijskog djelovanja u dubljim dijelovima krškog područja. Većina tih oblika je zbog nepristupačnosti još uvijek nedovoljno istražena i slabo poznata. Znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem fizičkih, geoloških i bioloških aspekata podzemnih oblika naziva se speleologija. U najvažnije podzemne oblike ubrajamo jame, špilje i kaverne. *Jame* su pretežito okomite udubine koje nastaju proširivanjem pukotina korozivnim i mehaničkim djelovanjem. Takve udubine imaju nagib veći od 45° i dublje su od 5 metara. Valja spomenuti da su rijetke jame dublje od 1000 metara. S obzirom na to u hrvatskoj ih imamo 3 od kojih je najdublja Lukina jama na sjevernom Velebitu. Do danas je istražena do dubine od 1.431 m. *Špilje* su udubine koje su se razvile vodoravno ili s nagibom manjim od 45° . Jedno od njihovih najvažnijih obilježja je čest izgled horizontalnog otvora. Duljine špilja i njihovih kanala variraju od nekoliko desetaka metara do nekoliko stotina kilometara. Špiljski kanali se nekad proširuju u velike dvorane i kanale. Najdulji špiljski sustav u Hrvatskoj je *Kita Gaćešina - Draženova puhaljka* u kojem su kanali dulji od 23 km u blizini Gračaca. Za razliku od jama i pećina, postoje zatvorene šupljine u krškom podzemlju, a to su kaverne. Brojne kaverne otkrivene su prilikom izgradnje autoceste A1 (Zagreb-Split) (Slika 20.) (Gall i sur. 2014).



Slika 20. Kaverna otkrivena ispod tunela Mala Kapela (Gall i sur. 2014)

Krški oblici specifični su po nastajanju različitih akumulacijskih oblika čija je pojava atraktivnog izgleda i daje podzemnim prostorima posebnu ljepotu. Ti oblici nazivaju se špiljski ukrasi, a među njima se ističu stalaktiti, stalagmiti i stalagnati. Stalaktiti su oblici kristalnih stupova koji vise sa špiljskih svodova, dok su stalagmiti stupovi koji se dižu s dna špilja. Ukoliko se stalaktit i stalagmit spoje, nastat će stalagnat tj. špiljski stup.

Površinski krški oblici

Djelovanjem korozije karbonatnih stijena na Zemljinoj površini nastaju krški površinski oblici kojima pripadaju škrape, kamenice, ponikve, uvale, zavale polja u kršu i zaravni. Najmanji, ali i najrašireniji krški površinski oblik su *škrape*. Škrape su uski žljebovi oštih bridova koji su nastali otjecanjem vode niz kamene vapnenačke blokove. Djelovanje vode oblikuje brojne tipove škrapa. Na krškim područjima najčešće nalazimo škrape u obliku žljebova i mreža. Žljebovi su nastali korozijskim djelovanjem atmosferskih voda na strmijim vapnenačkim blokovima, dok su mrežaste škrape nastale na ravnim ili blago nagnutim područjima. *Kamenice* su mikroreljefni krški oblik koji se javlja na kompaktnim blokovima vapnenca. Karakteriziraju ih plitke, zdjelice udubine najčešće kraće od jednog metra i dubine do dvadesetak centimetara što prouzrokuje pojačanu rubnu koroziju. *Ponikve* valja istaknuti jer su najčešći površinski oblik u kršu. One su ljevkaste udubine širine i dubine do nekoliko stotina metara. Prema nastanku dijele se na normalne i urušne. Normalne nastaju procesima korozije, dok urušne nastaju urušavanjem krovinskog dijela podzemnih pukotina. Tlo ponikvi je često prekriveno crvenim tlom koje je izuzetno pogodno u agrarnom pogledu s obzirom na cjelokupni krški kraj. Ukoliko je na nekom krškom području gustoća ponikvi veća od 40-60 ponikava/km², onda se takvo područje naziva *boginjavi (kozičavi) krš*. Dugoljaste udubine nastale korozijom i mehaničkim djelovanjem vode nazivamo *uvale u kršu*. Njihove duljine su većinom 500 do 1.000 metara, a prosječne su širine oko 250 metara. Znaju sadržavati ponikve i sadržavati crvenicu. *Zavale polja u kršu* su najveće krške udoline koje su izdužene u smjeru pružanja slojeva ili se formiraju duž rasjeda. Mogu se protezati i od 2 km pa do više od 50 km te biti široki od nekoliko stotina metara pa do pedesetak kilometara (Gall i sur. 2014). Nastanak polja u kršu vezan je uz tektonska gibanja. U tim poljima često protječu stalni ili povremeni tokovi koji nerijetko poniru.

Zaravni u kršu nalazimo u tropskim područjima ili u umjerenim širinama. Na njihovo nastajanje je velik utjecaj imala pozamašna količina CO₂ biogenog podrijetla koja je u vlažnom tlu pogodovala koroziji.

5. Mogućnosti sanacije posljedica egzogenih procesa

Erozija, kretanje stijenskih masa na padinama, zamočvarenje, okršavanje, raspadanje stijena i ostali procesi koji spadaju u područje egzogenih djelovanja zahtijevaju proučavanje u svrhu ocjene stupnja opasnosti za neki objekt i utjecaj prilikom izvođenja radova. Fizičko-geološki procesi su uz stijenu, stijensku masu i inženjersko geološke pojave jedan od osnovnih predmeta istraživanja u inženjerskoj geologiji. Promjene prirodnog stanja često su izazvane radom čovjeka zbog brojnih inženjerskih radova i eksploatacije nekih objekata. Zbog istog, prouzročene su brojne pojave koje zahtijevaju sanaciju istih. Upravo ovdje inženjerska geologija pronalazi svoju bit. Ona u suštini, prije svega, ima cilj preventivnog djelovanja, razmatranja i planiranja, što zahtijeva stalan nadzor i istraživanje potencijalno kritičnog područja. Također, građenje se javlja kao bitna stavka gdje se pojavljuju pitanja temeljenja, stabilnosti kosina itd. Zadnja vrlo bitna stavka inženjerske geologije je sanacija posljedica geohazardnih događaja, kao što su klizišta, erozija, poplave, potresi, nerazumna ljudska aktivnost i druge pojave. Inženjer prilikom projektiranja, izgradnje i korištenja određenog objekta mora predvidjeti što sve može utjecati od gore navedenih faktora kako bi se izbjegle katastrofe. Međutim, priroda zna biti nepredvidljiva, a inženjeri zbog manjka iskustva lako mogu pogrešno procijeniti situaciju što nakraju rezultira novim zadatkom, sanacijom posljedica egzogenih procesa.

Saniranje pokrenute stijenske mase česta je zadaća inženjer geologa kojem je cilj spoznati stupanj ugroženosti objekta koji se nalazi na pokretnoj padini ili na padini koja može biti zahvaćena nekim procesom klizanja. Inženjer tada treba ispitati uzrok klizanja, dubinu klizne plohe, oblik klizne plohe, ukupnu površinu zahvaćenu klizanjem masa, snimiti strukturne elemente i izraditi strukturne dijagrame u čvrstim stijenama te na osnovi tih podataka definirati vrstu klizanja i provesti sanaciju. Ovisno o tipu klizanja i stupnju razlomljenosti stijene, odabire se metoda sanacije. Kod klizišta možemo promijeniti oblik padine, drenirati podzemne vode zbog smanjenja uzgona, pornog tlaka i hidrodinamičkog utjecaja podzemne vode u terenu, regulirati otjecanja površinskih voda, izgraditi potporne konstrukcije za sprečavanje erozije nožice klizišta uz obale voda tekućica, jezera ili mora, te za opterećenje nožice klizišta u zasječenim i usječenim dijelovima terena, povećati čvrstoću materijala metodama injektiranja i pošumljavanjem terena.

5.1. Sanacija klizišta gabionskim zidovima

Gabionski zidovi koriste se za zaštitu pokosa nasipa, vodotoka, kanala i drugih vodnih građevina pomoću košara izgrađenih od žičane mreže ili polimerne mreže, žica ili prstenova kojim se mreža zateže. Te mreže se pune kamenim materijalom stvarajući tako čvrste blokove spremne za upotrebu. Kao materijal za ispunu može se koristiti lokalni kameni materijal koji ima potrebnu i odgovarajuću kakvoću. Dimenzije gabiona su različite i ovise o proizvodnom programu proizvođača. Prije postavljanja gabiona potrebno je pripremiti teren, što podrazumijeva poravnanje i zbijanje podloge na koju se gabioni postavljaju (Slika 21.). Na licu mjesta se popunjavaju košare s materijalom, zatvaraju se poklopcima i povezuju međusobno okomitim i kutnim vezovima. Potrebno ih je povezivati kako bi čvrstoća bila veća i postojana. Najsitniji materijal u košarama mora biti veći od otvora mreže. Između košara i prirodnog tla ugrađuje se filtarski materijal ili geotekstil da se spriječi infiltracija čestica tla u ispunu. Također, važno je da se iz najdubljeg dijela temelja zida omogući odvod vode pomoću drenažnih kanala kao i kontrola odvodnje površinskih i procjednih voda (Dragčević i sur. 2010).



Slika 21. Sanacija klizišta, Šenkovec (preuzeto s: <http://www.monterra.hr/en/projekti/>)

U ovom primjeru gabioni su korišteni u svrhu opterećenja nožice klizišta u zasječenom dijelu terena.

5.2. Sanacija klizišta na željezničkoj pruzi između kolodvora Karlovac i Mrzlo polje

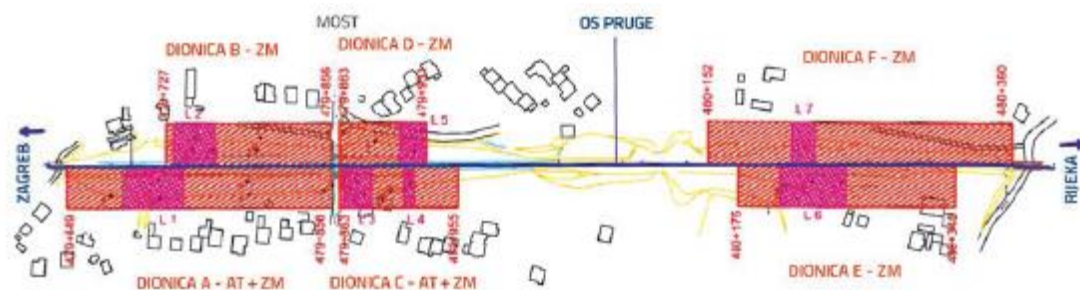
Na željezničkoj pruzi M202, Zagreb Glavni kolodvor – Rijeka, 1963. godine počela se graditi nova dionica pruge između kolodvora Karlovac i Mrzlo Polje duljine 3 km kako bi se izbjegao veći broj križanja željezničke pruge s cestom i da bi se dobili bolji vozni parametri pruge na toj dionici. Ubrzo nakon izgradnje navedene dionice, pojavila su se klizanja na pokosima usjeka. Ta klizanja rezultirala su izvedbama sanacija već na 5 lokacija unutar osam godina od izgradnje dionice. Sanacije su se izvele pilotima i montažnim zidovima, dok su na nekim lokacijama provedene mjere sanacije odvoženjem temeljnog tla i izradom privremenog zaštitnog zida od tračnica i drvenih pragova (Slika 22.) (Udović i sur. 2014).



Slika 22. Sanacija klizanja tla: a) montažnim betonskim zidom; b) zidom od zabijenih tračnica i drvenih pragova (Udović i sur. 2014)

Zbog dotrajalosti privremenih rješenja zaštite, funkcionalnost i sigurnost pruge, kao i sigurnost privatnih građevina na gornjem dijelu platoa usjeka, bila je ugrožena klizanjem tla. Navedeni razlozi rezultirali su poduzimanjem ozbiljnijih mjera, provedbu laboratorijskih i terenskih istražnih radova koji su završeni 2010. godine. Međutim, prije izrade potrebne dokumentacije 2013. godine, klizanja su se povećala zbog velikih količina oborina što je zahtijevalo hitnu sanaciju.

Provedeni su istražni radovi koji su obuhvaćali vizualni pregled klizišta i postojećih mjera sanacije kao i terenske i laboratorijske istražne radove. Nakon što su dobiveni potrebni podaci, mogla se projektirati sanacija klizišta. Plan pruge je podijeljen na zone, gdje su za svaku zonu provedeni istražni radovi te kao produkt istih odlučena metoda sanacije (Slika 23.) (Udović i sur. 2014). Nakon što je sve pomno razrađeno i isplanirano, počela je izvedba sanacije klizišta koja je napravljena izvedbom armiranog zida i zamjenom materijala (Slika 24).



Slika 23. Situacija radova sanacije (AT-armirano tlo; ZM-zamjena materijala) (Udović i sur. 2014)

Na dijelu gdje je izveden armirani zid nakon iskopa materijala provedeno je zbijanje temeljnog tla kako bi tlo poprimilo bolje fizikalno-mehaničke karakteristike. Na takvo tlo se postavljao geotekstil u svrhu drenaže kako bi provodio procjednu vodu do perforirane cijevi u dnu armiranog tla. Na to je slijedila izrada armiranog zida, polaganje geomreža i nasipanje kamenog materijala. Armirani zid sastoji se od modularnih betonskih blokova koji nemaju nosivu funkciju, polimernih konektora i geomreža. Tako je na očišćene blokove položena geomreža preko utora u bloku, a svaki kraj geomreže se spojio s konektorom uspostavljajući tako vezu između geomreža i modularnih betonskih blokova. Na vrhu zida izgradio se površinski dren. Završetkom izgradnje zida slijedila je izgradnja kamenog nasipa gdje se zatim ugradio mješoviti materijal od kamena i humusa kao i geosintetik protiv erozije uz završnu hidrosjjetvu pokosa (Slika 24.) (Udović i sur. 2014).



Slika 24. Izvedba sanacije klizišta na dionici A (Udović i sur. 2014)

Na dijelu klizišta je provedena sanacija zamjenom materijala. Na tim dionicama pristupni putovi dionica prolazili su kroz slojeve mekšeg koherentnog materijala što je zahtijevalo postavljanje geotekstila i zbijenog kamenog materijala. Prije izvedbe nasipa postavljene su drenažne perforirane cijevi na posteljicu od cementiranog kamenog materijala na geotekstilu. Nasip se zbijao u slojevima pa je završetkom istog slijedilo polaganje geotekstila. Zatim se ugrađivana mješavina kamena i humusa zbijala, na što je ugrađen čisti humus, položen geosintetik i provedena hidrosjetva pokosa (Slika 25.) (Udović i sur. 2014).



Slika 25. izvedba sanacije klizišta na dionici D (Udović i sur. 2014)

5.3. Sanacija klizišta na području Varaždinske županije – Općina Bednja

Izbor metode sanacije klizišta izuzetno je važan, ustvari, esencijalne je važnosti u pogledu efikasnosti, a time i uspješnosti same sanacije. Na proučavanom području Općine Bednje, gdje su se 2006. godine pojavila brojna klizišta koja su se prije sanacije 2009. godine dodatno proširila, proveden je niz mjera kojima se spomenuto područje saniralo. Bilo je potrebno dobro procijeniti i istražiti situaciju svakog klizišta kako bi se ono što efikasnije saniralo. Prije svega potrebno je bilo napraviti plan (Slika 26.) (Soldo i sur. 2012).

6. Zaključak

Suvremeni egzogeni procesi dio su naše svakodnevice, stoga zahtijevaju stalan monitoring. Često su nepredvidljivi jer se mnoge geološke karakteristike ne mogu precizno kvantificirati. Ukoliko inženjer precijeni sebe i svoje mogućnosti, često može doći do katastrofalnih posljedica. Takav preoptimističan pogled nerijedak je slučaj pogrešaka prilikom ocjenjivanja situacije na terenu. Takozvani „otac mehanike tla“, Karl Terzaghi, davno je rekao: „U geotehničkom inženjerstvu, više nego u bilo kojem polju građevinarstva, uspjeh ovisi o praktičnom iskustvu“. Dakle, vjerojatnost da će inženjer geolog napraviti kvalitetnu i realnu pretpostavku o problemu raste s godinama njegova rada. Inženjerska geologija kao interdisciplinarna znanost koja je povezana s građevinskom praksom je također usko vezana s geologijom i geotehnikom. Geologija, geotehnika i inženjerska geologija se značajno nadopunjuju. Dok geolozi studiraju probleme i rade kvalitativne analize, inženjer geolozi daju ulazne parametre za rješavanje problema i izrađuju kvantitativne analize da bi geotehničari na osnovni prikupljenih podataka od strane geologa i inženjer geologa mogli što efikasnije riješiti problem.

Upravo ovdje leži bit inženjerske geologije kao važne interdisciplinarne struke. Inženjer geolog uči cijeli život, radi na terenu, promatra, planira, djeluje, da bi na kraju teško prikupljeno iskustvo podijelio radi viših ciljeva, što jednostavnije, efikasnije, ekonomičnije sanacije nastalih posljedica uzrokovanih u ovom slučaju suvremenih egzogenih procesa u korist zajednice, uzimajući u obzir zaštitu okoliša i očuvanje zdravlja ljudi.

7. Literatura

- Bock, H. (2006). Common ground in engineering geology, soil mechanics and rock mechanics; Past, present and future. *Bulletin Engineering Geology and the Environment*, 65, 209-216.
- Cruden, D. M.; Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes. In: Turner, A.K. and Shuster, R.L., Eds., *Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special Report. 247*, str. 36-75.
- Dragčević, V.; Bolanča, K.; Skejić, D. (2010). *Zaštita ravnih i kosih površina vodotoka i nasipa*. U: Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu; Knjiga 1 - Gradnja i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i vodnih građevina za melioracije. Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i IGH d.d. Zagreb
- Gall, H.; Kralj, P.; Slunjski, R. (2014). *Geografija 1; udžbenik geografije u prvom razredu gimnazije*. Zagreb: Školska knjiga.
- Hansen, M. J. (1984). Strategies for classification of landslides. In: Brunsden D. and Prior, D.B.: *Slope Instability*. John Wiley and Sons, str. 1-25
- Lopatin, G. V. (1950). *Erosion and the runoff of sediments* (in Russian), Priroda 7
- Meaški, H. (2015). *Materijali s predavanja iz inženjerske geologije u ak. godini 2015./2016.*. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.
- Peševski, I.; Jovanovski, M.; Papić, J. Br.; Abolmasov, B. (2015). Model for GIS landslide database establishment and operation in Republic of Macedonia. *Geologica Macedonica*. 29, 75-86.
- Savarenski, F. P. (1935). *Experimental construction of landslide classification*. Geolog. Razvedochnyi Instit. (TSNICTRI), str. 29-37.
- Soldo, B.; Ivandić, K.; Orešković, M. (2012). Numerous landslides and landslide restorations – an example. *Acta Montanistica Slovaca*. 4, 257-262.
- Summerfield, M. A. (1991). *Global geomorphology*. Harlow: Longman.
- Tandarić, N. (2010). *Opća geomorfologija (skripta)*. Zagreb.

Terzaghi, K. (1950). Mechanism of Landslides. *Application of Geology to Engineering Practice*. Berkeley, Geological Society of America, str. 83-123

Udović, D.; Bančić, M.; Kovačević, S. (2014). Sanacija klizišta na željezničkoj pruzi između kolodvora Karlovac i Mrzlo Polje. *Građevinar*. 66, 1015-1025.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In: *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, Washington D. C. National Academy of Science, str. 11-33.

Popis slika

Slika 1. Tipovi padina prema obliku

Slika 2. Klizište u Californiji (preuzeto s: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-4563446/Big-Sur-landslide-added-13-acres-California-s-coastline.html> 02.09.2017.)

Slika 3. Vrste klizišta prema Savarenskom (Savarenski 1935)

Slika 4. Translacijsko klizište (lijevo) i rotacijsko klizište (desno) (preuzeto s: <https://www.slideshare.net/KaustubhSane/landslides-33583687> 03.07.2017.)

Slika 5. V profil korita

Slika 6. U profil korita

Slika 7. Nastajanje mrtvaje (preuzeto s: <http://worldlandforms.com/landforms/oxbow-lake/> 04.07.2017.)

Slika 8. Prošireni U profil korita

Slika 9. Riječna terasa rijeke Dovey u Walesu (preuzeto s: <https://geographyas.info/rivers/rejuvenation/> 02.09.2017.)

Slika 10. Klifovi Mohera u Irskoj (preuzeto s: <http://www.travelandleisure.com/attractions/the-cliffs-of-moher-ireland> 02.09.2017.)

Slika 11. Shema destrukcijskih oblika obale dorađena prema Tandariću (Tandarić 2010)

Slika 12. Shema akumulacijskih oblika obale dorađena na preuzeti sadržaj (preuzeto s: <http://thebritishgeographer.weebly.com/coasts-of-erosion-and-coasts-of-deposition.html> 27.07.2017.)

Slika 13. Snimka satelita - dalmatinski tip obale (Google karte 26.07.2017.)

Slika 14. Riječna dolina prije oledbe (lijevo) i riječna dolina transformirana radom leda (desno) (Gall i sur. 2014)

Slika 15. Pogled na ledenjake s vrha Corvatsch, Švicarska (Meaški, 2015)

Slika 16. Faze nastajanja pinga dorađene prema Tandariću (Tandarić 2010)

Slika 17. Gur (preuzeto s: <http://desertlandforms.weebly.com/desert-landforms.html> 02.09.2017.)

Slika 18. Postanak i pomicanje pustinjskih dinja (Gall i sur. 2014)

Slika 19. Reljefni i hidrološki oblici u kršu (Gall i sur. 2014)

Slika 20. Kaverna otkrivena ispod tunela Mala Kapela (Gall i sur. 2014)

Slika 21. Sanacija klizišta, Šenkovec (preuzeto s: <http://www.monterra.hr/en/projekti/>)

Slika 22. Sanacija klizanja tla: a) montažnim betonskim zidom; b) zidom od zabijenih tračnica i drvenih pragova (Udović i sur. 2014)

Slika 23. Situacija radova sanacije (AT-armirano tlo; ZM-zamjena materijala) (Udović i sur. 2014)

Slika 24. Izvedba sanacije klizišta na dionici A (Udović i sur. 2014)

Slika 25. izvedba sanacije klizišta na dionici D (Udović i sur. 2014)

Slika 26. Presjek plana sanacije klizišta (lijevo) i tlocrt plana sanacije klizišta (desno) (Soldo i sur. 2012.)

Slika 27. Klizište prije i poslije sanacije (Soldo i sur. 2012)

Popis tablica

Tablica 1. Količina denudacije na kontinentima prema Lopatinu (Lopatin 1950.)